不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究

韩兰芝，翟保平*，张孝羲
（南京农业大学植物保护学院，南京　210095）

摘要：组建了甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 在 5 种温度下的实验种群生命表。结果表明：在 20～32℃，甜菜夜蛾的发育速率随着温度的升高而加快，并符合 Logistic 模型；甜菜夜蛾卵、幼虫、蛹、产卵前期及世代的发育起点温度分别为 13.73℃、15.68℃、15.09℃、12.83℃和 15.06℃，有效积温分别为 37.9、126.3、73.8、29.2 和 265.6 日•度；甜菜夜蛾在 26℃时世代存活率和种群增长指数最高，分别为 55.2%和 205.9，20℃时不利于种群增长；在 26℃和 29℃时，甜菜夜蛾的平均产卵量最高，分别为 604.7 和 611.4 粒/雌，26℃是甜菜夜蛾最适宜交配的温度，交配率为 84.9%，平均精包数为 2.46 个/雌；高温条件下，甜菜夜蛾的成虫寿命、产卵前期和产卵期均缩短；甜菜夜蛾的世代存活率（S）和种群趋势指数（I）与温度（t）的关系均可用二次抛物线表示：$S = -0.5056\ t^2 + 27.652\ t - 326.02$（$r = 0.91$），$I = -3.2532\ t^2 + 178.45\ t - 2\,270.40$（$r = 0.94$）。

关键词：甜菜夜蛾；温度；生命表
中图分类号：Q965.8　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2003）02-0184-06

Life table of the laboratory population of *Spodoptera exigua*（Hübner）at different temperatures

HAN Lan-Zhi，ZHAI Bao-Ping，ZHANG Xiao-Xi（College of Plant Protection，Nanjing Agricultural University，Nanjing 210095，China）

Abstract：Life tables of laboratory population of *Spodoptera exigua* at five different temperatures were constructed. The results showed that the developmental rate increased with the increasing temperature from 20℃ to 32℃，and the relationship between them could be simulated by the Logistic model. The developmental temperature thresholds and sum of effective temperature required for egg，larva，pupa，preoviposition stages and generation were 13.73℃，15.68℃，15.09℃，12.83℃，15.06℃，and 37.9，126.3，73.8，29.2，265.6 degree day respectively. Both survival rate of immature stage and population trend index were the highest at 26℃. 20℃ was unfit for growth of the population. Mean egg productions at 26℃ and 29℃ were 604.7 and 611.4 respectively. 26℃ was the most suitable for adult mating with mating rate of 84.85% and 2.64 spermatophora accepted per female. Adult longevity，preoviposition and ovipositon periods declined at high temperature. Relationship between generation survival rate（S），population trend index（I）and temperature（t）could be descried by the equations：$S = -0.5056\ t^2 + 27.652\ t - 326.02$，$I = -3.2532\ t^2 + 178.45\ t - 2\,270.40$.

Key words：*Spodoptera exigua*；temperature；life table

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（Hübner）是世界性的重要农业害虫之一。它具有分布范围广、寄主多、迁飞扩散能力强、喜温且耐高温等特性。20 世纪 80 年代以前，甜菜夜蛾在我国仅是一种偶发性害虫，很少造成危害，但自 80 年代中期，特别是 90 年代以来，我国各个地区出现连续多年大发生的情况。由于甜菜夜蛾近几年才成为我国农业上的一种灾难性害虫，因而前期的基础研究比较少，生物学方面的资料相当缺乏。环境温度是影响昆虫种群数量变动的一个最显著生态因子，但已有的几篇报道用于研究的虫源和方法各异，结论也不尽相同（Lee，1991；Ali and Gaylor，1992；徐金汉等，1999；马骏等，1999）。作者应用生命表方法，系统研究了温度对甜菜夜蛾实验种群生长、存活及繁

基金项目：国家“十五”攻关项目（2001BA50BP01）
作者简介：韩兰芝，女，1976 年 6 月生，山东郓城人，在读博士，主要从事昆虫生态学方面的研究
* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：bpzhai@njau.edu.cn
收稿日期 Received：2002-04-10；接受日期 Accepted：2002-10-11

殖的影响，以期为甜菜夜蛾的预测预报和综合治理提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　虫源

从南京郊区采集虫龄一致的甜菜夜蛾幼虫，用人工饲料（沈晋良和吴益东，1995）在室内继代繁殖后，选择发育良好的虫源作为供试材料。

1.2　方法

1.2.1　温度处理和测定方法：用宁波江南制造厂生产的 RXZ 型人工气候箱，误差为 ±0.5℃，设置 20℃、23℃、26℃、29℃和 32℃ 5 个温度处理，光周期均为 L14:D10，相对湿度为 70%左右。

在产卵盛期，挑选大小适中、且发育良好的初产卵块，接入放有人工饲料的培养皿中（直径 15 cm），每皿 300 粒左右，重复 3 次，孵化期间每天检查 2 次，扣去未受精卵，统计孵化率。幼虫期各用原处理中孵化的幼虫 100 头，在直径为 5 cm 的塑料培养皿中用人工饲料饲养，每天定时观察并记载幼虫的蜕皮次数。当幼虫化蛹后，将雌雄蛹分别放到培养皿中并作好标记，在上述环境中，每天定时观察成虫的羽化情况。将当天羽化的成虫配对置于铺有产卵纸的一次性塑料杯（350 mL）中，饲以 10%的蔗糖水，杯顶盖有纱布，每个处理 15 对，每天更换产卵纸并记载成虫的产卵和存活情况，直至死亡。

1.2.2　发育起点温度和有效积温的计算：根据甜菜夜蛾在 5 个温度下的发育历期，采用李典谟和王莽莽（1986）提出的直接最优法计算发育起点温度。

1.2.3　发育速率与温度关系的拟合：将甜菜夜蛾在不同温度下的发育历期（N）转换成发育速率（V）后，用 Marquardt 法（冯康，1978）拟合甜菜夜蛾卵、幼虫、蛹和世代的发育速率（V）与温度（T）之间的关系。

1.2.4　生命表组建：根据不同温度下甜菜夜蛾各发育阶段的存活率及成虫繁殖力，以吴坤君等（1980）的方法组建不同温度下甜菜夜蛾实验种群生命表。

1.2.5　数据处理软件：用 Excel 和 SAS 6.12 软件进行数据处理。

2　结果与分析

2.1　温度对甜菜夜蛾发育的影响

在 20～32℃恒温下，甜菜夜蛾未成熟期各虫态历期随着温度的升高而缩短（表 1），在所有温度下，雌蛹的发育速率均大于雄蛹。

据此计算出甜菜夜蛾的发育起点温度和有效积温（表 2），甜菜夜蛾不同虫态的发育起点温度为 12.83～15.68℃，完成一个世代所需要的有效积温为 265.6 日·度。

根据表 1 的数据，采用 Logistic 曲线拟合，得出温度与甜菜夜蛾发育速率的关系模型，其参数值见表 3。

表 1　不同温度下甜菜夜蛾的发育历期（天）*

Table 1　Duration of the beet armyworm, *S. exigua* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage		温度 Temperature（℃） 20	23	26	29	32
卵期 egg		5.56 ± 0.06 a	4.59 ± 0.07 b	2.99 ± 0.01 c	2.55 ± 0.03 d	2.01 ± 0.01 e
幼虫期 larva		30.61 ± 2.06 a	14.13 ± 1.22 b	10.67 ± 0.92 c	9.93 ± 0.51 d	9.40 ± 0.56 d
蛹期 pupa	♀	14.80 ± 1.24 a	8.23 ± 0.66 b	6.41 ± 0.63 c	5.13 ± 0.78 d	4.51 ± 0.74 e
	♂	16.23 ± 1.22 a	8.95 ± 0.77 b	6.90 ± 0.77 c	5.30 ± 0.76 d	4.91 ± 0.63 d
未成熟期 immature stage	♀	51.81 ± 1.54 a	27.03 ± 1.03 b	20.81 ± 1.94 c	17.13 ± 0.42 d	15.63 ± 0.65 e
	♂	52.71 ± 1.86 a	27.69 ± 1.37 b	20.66 ± 1.46 c	17.39 ± 0.62 d	15.76 ± 0.80 e
产卵前期 preoviposition		3.53 ± 0.64 a	3.05 ± 0.55 b	2.57 ± 0.51 c	1.80 ± 0.85 d	1.40 ± 0.51 d
世代历期 generation time		55.78 ± 1.74 a	30.45 ± 1.26 b	23.32 ± 1.74 c	19.07 ± 0.55 d	17.11 ± 0.73 e

* 表中数据为平均值 ± 标准差，同一行数据后有相同字母表示经 Duncan 多重比较后差异不显著（$P \geqslant 0.05$），下同

The data in the table are presented as mean ± *SD* and those in the same row followed by same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test（$P \geqslant 0.05$）. The same for the following tables

表2 甜菜夜蛾各虫态的发育起点温度和有效积温

Table 2 Threshold temperature and sum of effective temperature (SET) for different stages of *S. exigua*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度(℃) Threshold temperature	有效积温(日•度) SET (degree-day)
卵 egg	13.73	37.9
幼虫 larva	15.68	126.3
蛹 pupa	15.09	73.8
产卵前期 preoviposition	12.83	29.2
世代 generation	15.06	265.6

2.2 温度对成虫生命参数的影响

2.2.1 温度对成虫寿命、产卵和交配的影响：甜菜夜蛾成虫的寿命与温度有密切关系（表4），且各温度下雌虫的寿命比雄虫短；随着温度升高，产卵前期和产卵期均明显缩短。在5种温度下，甜菜夜蛾的产卵量和总卵量（产卵量+残留卵量）的变化趋势大致相同，26～29℃是甜菜夜蛾怀卵和产卵的最适温度，在此温区内其平均怀卵量700粒以上，产卵率80%以上。20℃时，平均怀卵量仅为230粒，产卵量仅为100粒左右，且大多数不能孵化。在32℃，其怀卵量和产卵量也有所降低，但高温比低温的影响小得多（表4）。

雌蛾交配率和接受精包数反映了交配力的高低。在26℃下，雌蛾的交配率最高（84.85%），平均精包数也最多（2.46），因而是最适的交配温度。温度过高或过低都影响其交配，但低温比高温的影响程度大（表5）。

表3 甜菜夜蛾发育速率与温度之间关系的模型

Table 3 Logistic model for developmental rate (y) of *S. exigua* as function of temperature (t)

虫态 Stage	预测模型 Logistic model	复相关系数 Coefficient of multiple correlation
卵 egg	$y = 0.9828/1 + \exp(4.0520 - 0.1268\ t)$	$r = 0.99\ (P < 0.01)$
幼 larva	$y = 0.1410/1 + \exp(3.7863 - 0.1595\ t)$	$r = 0.93\ (P < 0.05)$
蛹 pupa	$y = 0.3675/1 + \exp(3.7815 - 0.1295\ t)$	$r = 0.98\ (P < 0.01)$
世代 generation	$y = 0.0920/1 + \exp(2.4860 - 0.0887\ t)$	$r = 0.90\ (P < 0.05)$

表4 温度对甜菜夜蛾成虫的影响

Table 4 Effect of temperature on adults of *S. exigua*

发育阶段 Developmental stage		温度 Temperature (℃)				
		20	23	26	29	32
寿命 longevity (d)	♀	11.88±3.48 a	8.81±3.75 b	9.82±3.44 b	8.55±2.55 cb	7.38±2.19 c
	♂	14.12±4.23 a	11.0±3.29 bc	11.12±3.17 b	9.64±2.77 b	8.62±2.40 c
产卵前期 preoviposition (d)		3.53±0.64 a	3.05±0.55 b	2.57±0.51 c	1.80±0.85 d	1.40±0.51 d
产卵期 oviposition (d)		5.81±1.94 a	6.00±2.97 a	5.65±2.37 a	5.00±1.77 a	2.64±1.28 b
产卵量（粒/♀）eggs laid/♀		101.06±59.30 c	341.05±311.37 b	604.70±280.97 a	611.44±320.98 a	499.29±294.18 ab
残卵量（粒/♀）egg not laid/♀		129.33±61.68 a	184.8±131.00 a	112.0±92.80 a	105.83±94.21 a	134.71±89.29 a
总卵量（粒/♀）total egg number/♀		230.39±94.36 c	525.85±286.57 b	716.70±239.95 a	717.28±256.88 a	634±231.32 ab
卵产出率（%）oviposition rate		47.06±18.84 b	52.66±32.28 b	81.06±20.41 a	81.35±23.74 a	74.66±22.25 a

表5 不同温度下甜菜夜蛾的交配力

Table 5 Copulation of the beet armyworm at different temperatures

温度（℃）Temperature	交配率（%）Mating rate	精包数（个/♀）Mean spermatophora	含不同精包数蛾所占比率（%）Rate of female adult with spermatophora					
			0	1	2	3	4	5
20	9.5	1.0±0.0	90.5	9.5	0	0	0	0
23	66.7	1.5±0.7	33.3	42.4	15.2	9.1	0	0
26	84.9	2.5±1.0	14.7	17.7	26.5	32.4	5.9	2.9
29	59.4	2.0±0.7	38.7	16.1	29.0	16.4	0	0
32	54.8	2.1±0.5	50	3.1	34.4	12.5	0	0

2.2.2 不同温度下的年龄特征生殖力：以不同温度下甜菜夜蛾雌蛾的年龄特征存活率和产雌数来表述其在不同温度下的繁殖力。图 1 表明，甜菜夜蛾在上述 5 种温度下的最高日产雌数分别为 102.6（32℃）、86.0（29℃）、120.0（26℃）、24.6（23℃）和 5.9（20℃）。29℃的年龄特征繁殖率虽低于 32℃和 26℃，但其平均产卵量却最高。而且还可看出低温（20℃、23℃）下产卵期延长，高温（32℃）下产卵期明显缩短。5 种温度下成虫产卵速率基本呈“Λ”形曲线，低温下其峰值明显偏后，且峰后的产卵期拖的较长，随着温度的升高，其峰值逐渐向中间移动，峰后的产卵期缩短。

2.3 不同温度下甜菜夜蛾实验种群生命表

环境温度对甜菜夜蛾的存活和繁殖均有明显的影响，根据不同温度下各发育期存活率和成虫繁殖力资料组建了甜菜夜蛾实验种群生命表（表 6）。表中的起始卵数为假定数，各发育阶段的死亡率为实际观察值，性比均假设为 1/1。

由图 2 和表 6 也可以看出温度对甜菜夜蛾存活的影响因发育期不同而异。在 20～32℃内，卵孵化的最适温度为 26℃，低温对卵孵化率的影响程度远大于高温；在 26～29℃内，幼虫的存活率最高，且均在 80% 以上。低龄幼虫（1～3 龄）在 20℃的存活能力比较差，高龄幼虫在上述 5 种温度下的存活率都达 90% 以上。26℃下，预蛹的存活率最高，温度偏高或偏低都影响甜菜夜蛾的化蛹。29℃下，蛹的羽化率最高，但随着温度的升高或下降，蛹的存活率降低；就整个世代的存活情况来说，26℃的世代存活率最高，其次是 29℃。种群增长趋势指数、世代存活率与温度之间的关系均呈抛物线趋势：

$$y = -3.2532x^2 + 178.45x - 2270.4 \quad (r = 0.94)$$

其中：y 为种群趋势指数，x 为环境温度；

$$y = -0.5056x^2 + 27.652x - 326.02 \quad (r = 0.91)$$

其中：y 为世代存活率，x 为环境温度。

表 6　不同温度下甜菜夜蛾世代种群生命表

Table 6　Population life table of beet armyworm at different temperatures

发育阶段 Developmental stage		温度 Temperature（℃）				
		20	23	26	29	32
起始卵数 initial eggs		100	100	100	100	100
卵死亡率（%）egg mortality		33.4	22.9	12.8	15.2	24.6
死亡数 number of egg died		33.4	22.9	12.8	15.2	24.6
进入 1 龄幼虫数 number of 1st instar larvae		66.6	77.1	87.2	84.8	75.4
1～3 龄死亡率 mortality of 1st－3rd larvae		11.0	3.7	3.8	5.4	8.1
死亡数 number of larvae died		7.3	2.9	3.3	4.6	6.1
进入 4 龄幼虫数 number of 4th instar larvae		59.3	74.2	83.9	80.2	69.3
4～5 龄死亡率 mortality of 4th－5th larvae		9.9	7.0	4.9	3.3	6.3
死亡数 number of larvae died		5.9	5.2	4.1	2.6	4.4
进入预蛹数 number of prepupae		53.4	69.0	79.8	77.6	64.9
预蛹死亡率 mortality of prepupae		21.9	20.4	17.4	22.8	25.2
死亡数 number of prepupae died		11.7	14.0	13.9	17.7	16.4
进入蛹期数 number of pupae		41.7	55.0	65.9	59.9	48.5
蛹期死亡率 mortality of pupae		34.7	33.8	16.2	14.1	17.3
死亡数 number of pupae died		14.5	18.6	10.7	8.4	8.4
羽化成虫数 number of adults emerged		27.2	36.4	55.2	51.5	40.1
雌蛾数（性比 1:1）number of females（♀：♂＝1）		13.6	18.2	27.6	25.8	20
世代存活率（%）generation survival rate	观察 observed	27.2	36.4	55.2	51.5	40.1
	估测 estimated	24.8	42.5	51.1	50.7	41.1
预计下代卵量 total eggs of next generation estimated		1 575.8	6 404.0	20 586.3	16 987.8	10 212.8
种群趋势指数 population trend index		15.8	64.0	205.9	169.9	102.1

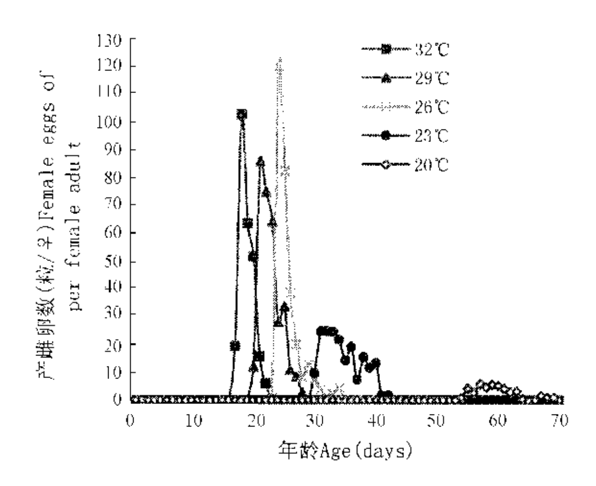


图1　不同温度下甜菜夜蛾特定年龄生殖力

Fig. 1　Age-specific fecundity of *S. exigua* at different temperatures

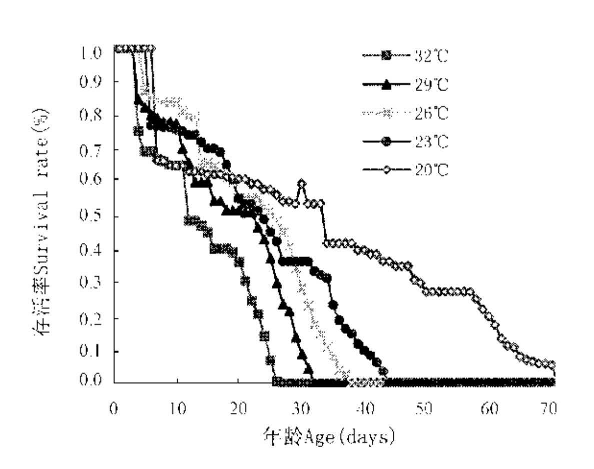


图2　不同温度下甜菜夜蛾特定年龄存活率

Fig. 2　Age-specific survival rate of *S. exigua* at different temperatures

3　讨论

我们的研究表明，温度对甜菜夜蛾的生长和繁殖有很大的影响，且不同虫态对温度的适应性上存在着明显的差异。在低温下，甜菜夜蛾的产卵期较长，但产卵量却最低，这说明低温延缓性腺的发育和卵子的成熟；在恒温26~29℃内，甜菜夜蛾的种群增长指数和繁殖力较高，说明此温区是甜菜夜蛾发育和繁殖的最适区。这也与7~9月份田间的实际情况相符。32℃下，成虫的寿命缩短，交配率降低，但雌蛾含有的平均精包数并没有减少，且此温度下各虫态的发育速率并没有下降，说明32℃并不是甜菜夜蛾发育的上限温度，可见甜菜夜蛾是一种喜高温性害虫。这与甜菜夜蛾发生的实际情况相符。凡是入梅早、夏季炎热少雨的年份，秋季甜菜夜蛾的发生就重。北方7~9月份天气高温、干旱是甜菜夜蛾大发生的有利条件（陆致平等，2000；戴率善等，2001）。

温度对甜菜夜蛾种群动态的影响，国内外已有一些报道（Lee，1991；Ali and Gaylor，1992；徐金汉等，1999；马骏等，1999），但由于实验种群来源、寄主食料和研究方法的不同，其结果有一定的差异，如甜菜夜蛾的发育起点温度和有效积温，不同的报道之间竟相差8.37℃和230.27日•度。本研究中的发育起点温度和有效积温与马骏等（1999）与Ali和Gaylor（1992）的报道基本相似。就存活率和虫态历期来说，寄主食物与其有密切的关系，生活在人工饲料上的幼虫存活率远高于在天然饲料上的存活率（Ali and Gaylor，1992）。本实验对南京地区种群的研究结果与马骏等（1999）的深圳种群基本相似，除了发育起点温度与有效积温的差异外，与徐金汉等（1999）报道的福建种群也基本吻合，说明甜菜夜蛾目前尚无明显的南北地理种群的差异，这也为甜菜夜蛾的迁飞性提供了一个佐证。

参　考　文　献（References）

Ali A，Gaylor M J，1992. Effects of temperature and larval diets on development of the beet armyworm. *Environ. Entomol.*，21（4）：780－786.

Dai S S，Li Z G，Li Y H，Li C Q，Qiu B H，Zhang Y，2001. The occurrence law and management strategy of the beet armyworm，*Spodoptera exigua* in Xuzhou Area. In：Research Progresses of Pest Control to Economic Crops. Beijing：China Agricultural Press. 297－301.［戴率善，李宗冠，李艳红，李翠芹，仇保华，张英，2001. 徐州地区甜菜夜蛾的发生规律及治理策略. 见：经济作物有害生物防治研究进展. 北京：中国农业出版社. 297－301］

Feng K，1978. Methods of Numerical Calculation. Beijing：National Defence Industry Press. 154－160.［冯康，1978. 数值计算方法. 北京：国防工业出版社. 154－160］

Lee S D，1991. Effect of temperature on the development of beet armyworm，*Spodoptera exigua*. *Res. Reports Rural Devel. Administr.*，33（2）：58－62.

Li D M，Wang M M，1986. Research of rapidly estimating developmental threshold and degree-day. *Entomol. Know.*，23（4）：184－186.［李典谟，王莽莽，1986. 快速估计发育起点温度及有效积温的研究. 昆虫知识，23（4）：184－186］

Lu Z P，Chen X P，Liu Y C，Shen L M，2000，The occurrence law and management strategy of beet armyworm，*Spodoptera exigua*. China Entomology to 21th Century. Beijing：China Science and Technology Press. 664－667.［陆致平，陈小萍，刘于成，沈利明，2000.

甜菜夜蛾的发生规律及其防治策略研究. 见：走向 21 世纪的中国昆虫学. 北京：中国科技出版社. 664－667]

Ma J，Chen Y N，Xiao S J，Mo G Z，1999. Effects of temperature on growth of laboratory population of the beet armyworm. *Journal of Hunan Agricultural University*，25（4）：308－311.［马骏，陈永年，肖素娟，莫光珍，1999. 温度对甜菜夜蛾实验种群增长的影响. 湖南农业大学学报，25（4）：308－311］

Shen J L，Wu Y D，1995. Pesticide Resistance and Management of *Helicoverpa armigera*. Beijing：China Agricultural Press. 91－94.［沈晋良，吴益东，1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京：中国农业出版社. 91－94］

Wu K J，Chen Y P，Li M H，1980. Effects of temperature on growth of laboratory population of *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomol. Sin.*，23（4）：358－367.［吴坤君，陈玉平，李明辉，1980. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报，23（4）：358－367］

Xu J H，Guan X，Huang Z P，Yu Y P，1999. Effects of different temperature on development of laboratory population of *Spodoptera exigua*. *J. Plant. Protect.*，26（1）：20－24.［徐金汉，关雄，黄志鹏，余月萍，1999. 不同温度对甜菜夜蛾实验种群的影响. 植物保护学报，26（1）：20－24］